



## Perpindahan Panas pada Pengering Tipe Drum Berputar pada Kondisi Tanpa Beban

### Heat Transfer of Rotating Drum Dryer in No-Load Conditions

Kavadya Syska<sup>\*,1</sup>, Ropiudin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

\*Penulis Korespondensi

Email: syska.kavadya@gmail.com

**Abstrak.** Pengering tipe drum berputar yang dikembangkan merupakan sistem yang terdiri atas empat subsistem yaitu: tungku pembakaran, tangki air, penukar panas, dan silinder pengering. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme pindah panas pengering tipe drum berputar, besarnya kehilangan panas, dan efisiensi termal sistem selama proses pengeringan tanpa beban. Metode penelitian yang digunakan adalah metode analitik pada pengering tipe drum berputar. Variabel penelitian meliputi: (a) variabel pengukuran yaitu perubahan suhu pada masing-masing subsistem, spesifikasi geometri pengering, suhu lingkungan, dan (b) variabel perhitungan meliputi koefisien konveksi bahan, kehilangan panas, dan efisiensi termal. Pengukuran dilakukan setiap 10 menit dan diakhiri pada saat suhu masuk silinder pengering konstan. Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan persamaan pindah panas sehingga diperoleh nilai pindah panas untuk mengetahui besarnya nilai kehilangan panas dan efisiensi sistem. Hasil penelitian menunjukkan mekanisme pindah panas pada pengering tipe drum berputar terjadi secara konduksi dan konveksi. Total panas yang hilang pada subsistem tungku pembakaran 261,270 MJ, subsistem tangki air 20,416 MJ, subsistem penukar panas 0,017 MJ, dan subsistem silinder pengering 0,577 MJ. Efisiensi termal pada subsistem tungku pembakaran 30,17%, subsistem tangki air 74,30%, subsistem penukar panas 99,97%, dan subsistem silinder pengering 99,02%. Efisiensi total sistem terhadap besarnya bahan bakar yang diberikan adalah 75,87%.

**Kata kunci:** pengering tipe drum berputar, panas, efisiensi, energi, pangan

**Abstract.** Rotating drum dryer has been developed was consist of four subsystems: combustion stove subsystem, water tank subsystem, heat exchanger subsystem, and dryer cylinder subsystem. The research aimed to know about the mechanism of heat transfer in-cylinder rotates type dryer, number of heat loss, and thermal efficiency during the drying process without burden. The research method used was the analytical method in the rotating drum dryer system. The system which observed is consist of four subsystems: combustion stove subsystem, water tank subsystem, heat exchanger subsystem, and dryer cylinder subsystem. Research variables include (a) measurement variable is change temperature for each subsystem, geometry specification of the dryer, environment temperature and (b) calculate variable are material convection coefficient, heat loss, and thermal efficiency. The temperature measuring was done every 10 minutes and finished when the temperature inlet was constant. Measurement result data was analyzed by using a heat transfer equation so that obtained heat transfer value to know the number of heat loss and

Diterima : 16 Mei 2020

Disetujui : 28 Juni 2020

Diterbitkan : 29 Juni 2020

Doi: <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v3i1.68>

Artikel ini adalah artikel open access di bawah lisensi CC BY-SA 4.0

*system efficiency. The result from this research was the heat transfer mechanism in the cylinder rotate type dryer occurred by conduction and convection. Total heat loss at the combustion stove subsystem was 183,804 MJ, water tank subsystem was 20,415 MJ, heat exchanger subsystem was 0,017 MJ and dryer cylinder subsystem was 0,577 MJ. Thermal efficiency at the combustion stove subsystem was 30,17%, the water tank subsystem was 74,30%, the heat exchanger subsystem was 99,97%, and the dryer cylinder subsystem was 99,02%. The total thermal efficiency system to the number of fuel provided was 75,87%.*

**Keywords:** rotating drum dryer, thermal, efficiency, energy, food

## 1. Pendahuluan

Pengeringan merupakan proses yang berhubungan dengan pindah panas (Mujumdar, 2006). Pindah panas adalah perpindahan energi yang diakibatkan oleh perbedaan suhu (Saha *et al.*, 2020). Transfer energi sebagai panas merupakan suatu sistem yang memiliki suhu lebih tinggi berpindah ke sistem yang memiliki suhu yang lebih rendah (Hossain, 2011). Perpindahan suhu ini akan berhenti apabila kedua sistem telah memiliki suhu yang sama (Holman, 2020). Pindah panas pada pengeringan terjadi akibat suhu bahan lebih rendah dari pada suhu udara yang dialirkan di sekelilingnya (Holman, 2020). Panas yang diberikan ini akan menaikkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap air di dalam bahan lebih tinggi dari pada tekanan uap di udara, sehingga terjadi perpindahan uap air dari bahan ke udara yang merupakan pindah massa (Mujumdar, 2006).

Pengeringan buatan dilakukan untuk memperbaiki kelemahan yang ada pada pengeringan konvensional (Mujumdar, 2006). Pengeringan buatan dilakukan dengan menggunakan alat pengering. Energi yang digunakan dalam pengering buatan adalah energi panas yang berasal dari berbagai sumber, diantaranya: biomassa, bahan bakar gas, dan bahan bakar minyak (Adapa *et al.*, 2005; Delgado *et al.*, 2016). Konversi sumber panas menjadi panas biasanya menggunakan tungku atau boiler melalui proses pembakaran (Horváth *et al.*, 2019; Sonsiri *et al.*, 2019). Uap panas hasil pembakaran tidak secara langsung bersentuhan dengan bahan, namun melalui alat penukar panas terlebih dahulu supaya bahan tidak terkontaminasi oleh bau asap sumber panas yang ditimbulkan (Telci *et al.*, 2010). Uap panas yang dihasilkan selanjutnya dapat digunakan untuk pengeringan produk (Horváth *et al.*, 2019; Mujumdar, 2006; Sonsiri *et al.*, 2019).

Salah satu pengering buatan yang dapat digunakan untuk mengeringkan produk pangan adalah pengering tipe drum berputar. Keseluruhan sistem pengering tipe drum berputar merupakan suatu sistem yang kompleks yang melibatkan interaksi panas dengan komponen alat pengering (Horváth *et al.*, 2019; Mujumdar, 2006; Sonsiri *et al.*, 2019). Pengering tipe drum berputar pada penelitian ini merupakan pengembangan dari beberapa perbaikan pengering drum berputar yang ada. Pengering tipe drum berputar yang dikembangkan terdiri atas: subsistem tungku pembakaran, subsistem tangki air, subsistem penukar panas, dan subsistem silinder pengering.

Sulikah *et al.*, (2008), pengering menggunakan drum silinder berlubang untuk ruangnya dan diputar oleh motor listrik dengan hasil menunjukkan bahwa ketika jumlah rotasi adalah 20, jagung

yang dikupas telah dicampur secara efektif. Ditambahkan Sulikah *et al.*, (2008), untuk memenuhi kondisi ini, drum diputar selama 5 menit setiap 15 menit selama proses pengeringan, sehingga energi panas adalah penyumbang tertinggi dari total konsumsi energi. Nelwan *et al.*, (2008), mengkaji model pengering drum didasarkan pada panas dan keseimbangan massa unggun dikemas silinder dengan aliran udara melewati tempat pengering, setiap kali kelembaban relatif udara lebih tinggi dari kadar air kesetimbangan, diasumsikan proses kondensasi akan terjadi. Nelwan *et al.*, (2008) menggunakan metode beda hingga dengan skema Euler digunakan untuk melakukan perhitungan dengan hasil penelitian bahwa model yang dikembangkan dapat memprediksi distribusi suhu butiran dan kadar air. Risano *et al.*, (2017), juga merancang ulang alat pengering biji kakao tipe rotari sederhana agar proses pengeringan lebih efektif dan didapat kualitas hasil pengeringan biji kakao lebih baik dan dilanjutkan dengan perhitungan yang meliputi dimensi alat pengering, termal yang terjadi pada alat pengering, dan kebutuhan bahan bakar pada alat pengering biji kakao tipe rotari sederhana, serta dilakukan simulasi pada model alat pengering biji kakao tipe rotari sederhana. Ostroukh *et al.*, (2015) mengkaji model simulasi pencampuran difusi padatan, berdasarkan teori probabilitas dan model difusi stokastik dari proses tidak sempurna dari partikel padat. Diasumsikan bahwa partikel memiliki ukuran dan kepadatan yang berbeda. Model program diimplementasikan di AnyLogic SoftWare. Mengembangkan model simulasi untuk mengevaluasi perbedaan antara proses pencampuran intens dalam waktu dan menilai dampaknya terhadap proses lain dalam mixer drum horizontal.

Pindah panas yang terjadi pada pengering tipe drum berputar meliputi konveksi, konduksi, dan radiasi (Holman, 2010; Welty *et al.*, 2019). Dalam aplikasinya, ketiga mekanisme ini dapat saja berlangsung secara simultan. Sehingga proses pindah panas dari satu subsistem ke subsistem lain perlu pengkajian khusus sehingga dapat memberikan gambaran secara sistematis dan faktual mengenai fenomena perubahan suhu di dalam alat pengering (Hossain, 2011; Saha *et al.*, 2020).

Analisis pindah panas pada pengeringan perlu dilakukan. Hal ini dikarenakan pindah panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi panas itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi dapat meramalkan laju pindah panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (Holman, 2010; Hossain, 2011; Saha *et al.*, 2020; Welty *et al.*, 2019).

Analisis pindah panas pada pengering tipe drum berputar dengan studi kasus pengeringan tanpa beban perlu dilakukan sebelum melakukan analisis pindah panas pada bahan yang akan dikeringkan. Riset ini digunakan sebagai basis awal dalam pengujian pindah panas pada produk yang akan dikeringkan. Hal ini akan berguna untuk mengetahui efisiensi termal sistem dalam keseluruhan sistem pengering.

## 2. Bahan dan Metode

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan: gas elpiji dan air. Alat yang digunakan: pengering tipe drum berputar, termokopel tipe T jenis CC, termokopel batang, hybrid recorder, termometer air raksa, stopwatch, rolmeter, kalkulator, alat tulis, dan komputer.

### Analisis Pindah Panas

Analisis pindah panas yang terjadi di dalam pengering didasarkan pada asas keseimbangan energi. Analisis yang dilakukan adalah analisis teknis yang meliputi:

#### *Analisis Pindah Panas pada Subsistem Tungku Pembakaran*

Panas hasil proses pembakaran pada tungku pembakaran diserap oleh dinding tungku, pipa-pipa penyalur dan cerobong pengeluaran. Tungku pembakaran yang digunakan berbentuk silinder vertikal. Kehilangan panas pada dinding tungku terjadi secara konduksi dan konveksi. Aliran kalor menyeluruh sebagai hasil gabungan proses konduksi dan konveksi bisa dinyatakan dengan koefisien pindah panas menyeluruh (Holman, 2010). Nilai koefisien pindah panas menyeluruh ( $U$ ) untuk bentuk silinder vertikal (Welty *et al.*, 2019) adalah:

$$U = \frac{1}{A \left\{ \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o} \right\}} \quad (1)$$

Jika misalnya  $U$  dihitung berdasarkan luas permukaan luar  $A_o$ , maka:

$$U = \frac{1}{\frac{A_o}{h_i A_i} + \frac{A_o \ln(r_o / r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o}} \quad (2)$$

Sehubungan dengan itu, maka besarnya kehilangan panas melalui dinding tungku berbentuk silinder vertikal dapat dinyatakan dengan:

$$q_w = U.A.(T_g - T_l) \quad (3)$$

#### *Analisis Pindah Panas pada Subsistem Tangki Air*

Tangki air yang digunakan pada subsistem ini adalah tangki yang berbentuk silinder vertikal. Air dalam tangki mendapat panas secara konduksi dan konveksi dari gas hasil pembakaran melalui dinding pipa-pipa penyalur yang dipasang di dalam tangki. Energi panas pada air tersebut kemudian hilang kembali ke lingkungan. Pindah panas yang terjadi dari air ke lingkungan meliputi konduksi dan konveksi. Nilai koefisien pindah panas menyeluruh ( $U$ ) untuk subsistem tangki air dapat dihitung menggunakan persamaan (1). Sehingga besarnya kehilangan panas dari air ke lingkungan dapat dinyatakan dengan (Welty *et al.*, 2019):

$$q_{WT} = \frac{T_{wa} - T_l}{\frac{A_o}{h_i A_i} + \frac{A_o \ln(r_o / r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o}} \quad (4)$$

#### *Analisis Pindah Panas pada Subsistem Penukar Panas*

Analisis pindah panas pada subsistem penukar panas dilakukan menggunakan *Logarithmic Mean Temperature Difference* (LMTD). Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) digunakan dalam mencari koefisien pindah panas keseluruhan dari penukar panas. LMTD ini merupakan pendekatan untuk mencari nilai perbedaan suhu antara dua fluida dalam alat penukar panas secara keseluruhan (Welty *et al.*, 2019).

$$q_{HE} = UA\Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (5)$$

#### **Efisiensi Sistem Thermal**

Efisiensi sistem termal dilakukan pada 5 bagian, yaitu: (1) Subsistem tungku pembakaran, (2) Subsistem tangki air, (3) Subsistem penukar panas, (4) Subsistem silinder pengering, dan (5) Efisiensi total sistem.

### **3. Hasil dan Pembahasan**

#### **Pengering Tipe Drum Berputar**

Pengering yang dikembangkan merupakan perbaikan dari pengering yang ada untuk meningkatkan keseragaman kadar air. Sumber panas yang digunakan dalam alat ini berasal dari proses pembakaran. Dalam prakteknya penggunaan alat ini dilengkapi dengan beberapa komponen yang menggunakan sumber energi listrik seperti: pompa, blower dan motor listrik. Pompa digunakan sebagai alat bantu dalam proses sirkulasi air dari subsistem tangki air ke penukar panas. *Blower* digunakan untuk menarik udara agar melewati penukar panas dan motor listrik digunakan sebagai bahan yang digunakan untuk memutar puli dan *gear* yang selanjutnya memutar silinder pengering.

Subsistem tungku pembakaran terdiri dari tungku yang terbuat dari mild steel dengan diameter dalam 669 mm, diameter luar 675 mm, ketebalan 3 mm dan tinggi 900 mm. Tungku ini dilengkapi dengan pintu sebagai tempat pemasukan bahan bakar. Ruang pembakaran dihubungkan dengan pipa-pipa penyalur yang terbuat dari mild steel. Pipa-pipa ini berada di atas ruang pembakaran dan berada pada tangki air yang berfungsi sebagai media pindah panas konduksi yang selanjutnya digunakan untuk memanaskan air. Jumlah pipa penyalur sebanyak 49 pipa dengan diameter dalam 36 mm, diameter luar 42, ketebalan 3 mm, dan tinggi 530 mm. Kemudian pipa penyalur ini dihubungkan dengan cerobong pengeluaran. Cerobong terbuat dari mild steel dengan

diameter dalam 95,6 mm dan diameter luar 101,6 mm dan tinggi 1290 mm. Cerobong ini dilengkapi dengan penutup di bagian ujungnya (Gambar 1).



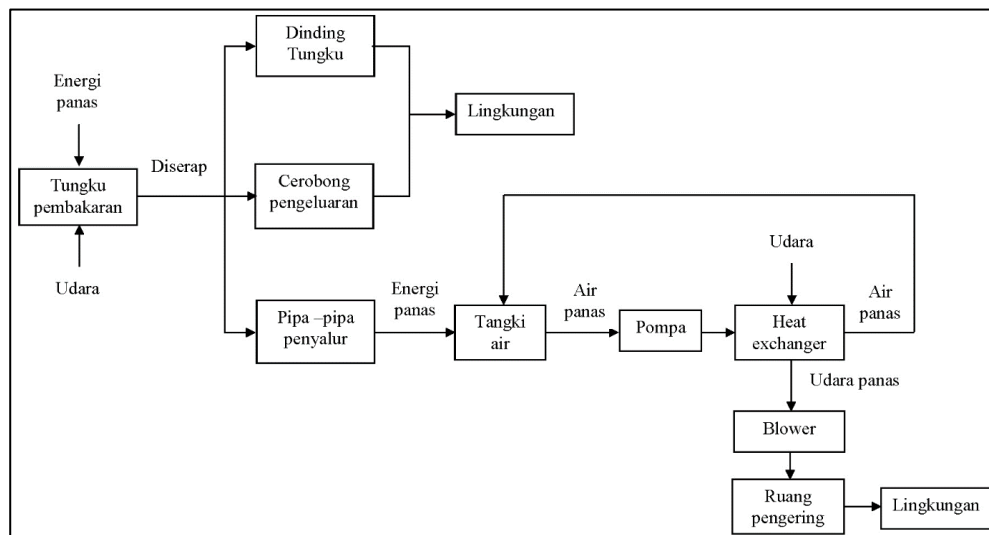
Gambar 1. Pengering tipe drum berputar yang dikembangkan: (a) subsistem tungku pembakaran, (b) subsistem tangki air, (c) subsistem penukar panas, dan (d) subsistem silinder pengering

Subsistem tangki air merupakan lanjutan dari subsistem tungku pembakaran, letaknya berada di atas ruang pembakaran. Tangki ini terbuat dari mild steel berdiameter dalam 669 mm, diameter luar 675 mm, ketebalan 3 mm, dan tinggi 800 mm. Tangki ini berfungsi sebagai tempat air yang dilengkapi pipa inlet ke penukar panas dan pipa outlet dari penukar panas serta tutup tangki. Pipa inlet berfungsi sebagai saluran air panas dari tangki air ke penukar panas. Sedangkan pipa outlet berfungsi sebagai saluran air panas yang keluar dari penukar panas ke tangki air. Tutup tangki berfungsi untuk menghalangi hilangnya uap air karena proses pemanasan, sehingga adanya komponen pendukung, sirkulasi air reversibel.

Air dari tangki air selanjutnya masuk ke subsistem penukar panas melalui pipa inlet. Penukar panas yang digunakan pada alat pengering ini adalah penukar panas tipe crossflow (aliran menyilang). Hal ini dikarenakan dua aliran fluida mengalir saling tegak lurus. Yakni air panas

mengalir dalam pipa searah sumbu Y dan udara mengalir searah sumbu X dalam koordinat cartesius. Proses aliran air dalam penukar panas dibantu oleh pompa tarik, hal ini dimaksudkan agar air mengalir secara terus-menerus dalam pipa selama proses pengeringan. Sedangkan proses aliran udara yang melewati penukar panas ditarik oleh blower yang berada di belakang penukar panas. Pada penukar panas ini akan terjadi pindah panas dari pipa-pipa dan sirip penukar panas ke udara yang ditarik oleh blower, sehingga udara yang masuk ke silinder pengering merupakan udara panas yang dapat digunakan untuk proses pengeringan.

Subsistem silinder pengering merupakan tempat untuk menempatkan produk yang akan dikeringkan. Silinder pengering terbuat dari mild steel berlubang dengan penutup silinder kanan dan kiri yang terbuat dari besi berlubang juga. Plat besi berlubang berguna untuk proses aliran udara masuk dan udara keluar pada saat pengeringan. Silinder berdiameter 1260 mm dan panjang 2400 mm. Silinder dilengkapi pintu-pintu yang terbuat dari *mild steel*.



Gambar 2. Skema aliran pindah panas pada pengering tipe drum berputar

### Analisis Pindah Panas pada Pengering Tipe Drum Berputar

Pindah panas yang terjadi dalam alat pengering tipe drum berputar dikaji terdiri atas pindah panas konduksi, dan konveksi. Sedangkan pindah panas radiasi diabaikan. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, diperoleh bahwa pindah ini terjadi secara simultan pada keseluruhan subsistem alat pengering sebagai berikut (Gambar 2):

#### Analisis Pindah Panas pada Subsistem Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran merupakan tempat sumber panas yang selanjutnya energi panas hasil pembakaran akan digunakan sebagai media untuk proses pengeringan. Subsistem tungku pembakaran terdiri dari 3 bagian, yaitu: ruang pembakaran, pipa-pipa penyalur dan cerobong pengeluaran. Pindah panas pada subsistem tungku pembakaran terjadi secara konduksi dan konveksi. Pindah panas secara konduksi terjadi pada dinding tegak tungku, dinding tegak pipa penyalur, dan dinding tegak cerobong pengeluaran.



Panas dari proses pembakaran bahan bakar akan merambat mengenai dinding tungku sehingga suhu dinding tungku akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu dalam ruang pembakaran itu sendiri. Pindah panas secara konveksi terjadi antara dinding tungku dengan lingkungan sekitar tungku dan dinding tungku dengan bagian lingkungan luar.

Udara panas dari ruang pembakaran akan mengalir melalui pipa penyalur. Panas akan merambat secara konduksi ke dinding tegak pipa penyalur sehingga suhu dinding tegak pipa penyalur akan meningkat seiring dengan suhu dalam ruang pembakaran. Panas akan berpindah secara konveksi dari dinding tegak tungku ke dalam fluida air yang berada pada tangki air. Panas ini merupakan panas efektif yang digunakan untuk energi pengeringan.

Udara panas selanjutnya akan mengalir melalui cerobong pembakaran, panas yang mengalir akan memanaskan dinding tegak cerobong pengeluaran secara konduksi. Panas akan hilang ke lingkungan melalui ujung cerobong dan melalui dinding tegak tungku.

#### Analisis Pindah Panas pada Subsistem Tangki Air

Pindah panas pada subsistem tangki air terjadi secara konduksi dan konveksi. Panas yang mengalir dalam pipa penyalur pada subsistem tungku pembakaran yang berada dalam tangki air mengalir secara konveksi yang kemudian digunakan untuk memanaskan dinding pipa penyalur secara konduksi. Setelah proses konduksi pada pipa penyalur kemudian panas akan mengalir ke air yang terdapat dalam tangki air secara konveksi. Pindah panas ini akan menyebabkan terjadi peningkatan suhu air melalui pipa-pipa penyalur yang dipasang di dalam tangki menuju air dalam tangki air. Air panas pada tangki air ini akan ditarik oleh pompa menuju penukar panas dan kembali lagi ke tangki. Sehingga terjadi aliran reversibel.

#### Analisis Pindah Panas pada Subsistem Penukar Panas

Penukar panas yang digunakan adalah penukar panas dengan tipe aliran silang (*cross-flow*). Pindah panas pada subsistem penukar panas terjadi secara konduksi dan konveksi. Air panas yang mengalir pada penukar panas akan merambatkan panas ke dalam sirip secara konduksi, yang selanjutnya panas akan mengalir secara konveksi dari sirip penukar panas ke udara yang masuk ke penukar panas yang ditarik oleh blower. Sehingga udara yang masuk ke dalam silinder pengering merupakan udara panas yang digunakan untuk pengeringan.

#### Analisis Pindah Panas pada Subsistem Silinder Berputar

Pindah panas yang berhubungan dengan udara pada sistem ini adalah interaksi panas dengan komponen-komponen di dalam ruang pengering secara konveksi. Dari dinding pengering, udara keluar ke lingkungan dan udara di dalam silinder tempat produk dikeringkan menuju ruangan, sementara itu udara dari ruang pengering akan menuju ke absorber dan dinding. Udara di dalam ruang pengering diasumsikan memiliki suhu yang seragam. Pada silinder bagian dalam, udara



berasal dari ruangan yang telah dipanaskan ketika melalui penukar panas. Diasumsikan tidak ada kehilangan panas pada saluran yang menghubungkan bagian ini dengan penukar panas.

#### Kehilangan Panas pada Alat Pengering Tipe Drum Berputar

Kinerja sebuah alat pengering yang ideal adalah seluruh panas yang dimasukkan ke dalam alat harus digunakan untuk memanaskan bahan. Namun pada prakteknya banyak panas yang hilang dengan beberapa cara. Dengan kata lain panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar tidak sepenuhnya dapat dihantarkan untuk proses pengeringan, tetapi ada sebagian panas yang hilang. Kehilangan energi panas dapat diketahui dengan melakukan pengukuran secara teliti dari suhu dinding dan suhu udara sekitar. Proses hilangnya energi dapat terjadi secara konduksi, dan konveksi.

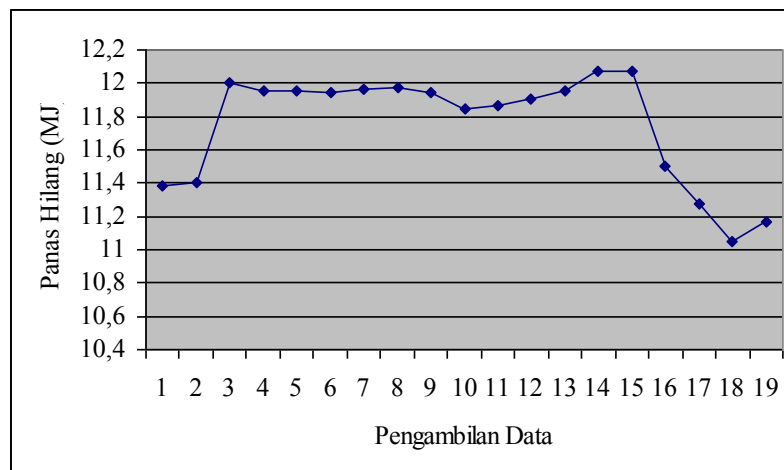
Salah satu faktor yang mempengaruhi besar kehilangan panas adalah nilai konduktivitas termal suatu bahan. Nilai konduktivitas termal bahan menunjukkan berapa cepat panas mengalir dalam bahan tertentu. Semakin cepat molekul bergerak semakin cepat pula molekul tersebut mengangkut energi. Jadi nilai konduktivitas yang tinggi menunjukkan laju pindah panas yang pesat, semakin tinggi laju pindah panas pada bahan tersebut maka panas yang hilang semakin besar.

Hasil pengamatan dan perhitungan menunjukkan bahwa kehilangan panas terbesar adalah pada subsistem tungku pembakaran dengan total kehilangan panas 261,270 MJ. Kehilangan panas pada tungku pembakaran terjadi pada dinding tungku 223,233 MJ, dinding pipa penyalur 32,574 MJ, dinding cerobong 5,467 MJ, dan sisanya hilang ke lingkungan. Kehilangan pindah panas terbesar kedua terjadi pada subsistem tangki air 20,416 MJ, dan yang terakhir kehilangan pindah panas pada subsistem penukar panas 0,017 MJ. Perbedaan jumlah panas yang hilang untuk setiap subsistem disebabkan oleh gradien suhu dan nilai resistensi termal bahan.

*Gradien* perubahan suhu sangat berkaitan dengan nilai konduktivitas termal bahan seperti yang diungkapkan oleh Holman (2010) bahwa energi kinetik molekul ditunjukkan oleh suhunya, pada bagian bersuhu tinggi molekul-molekul mempunyai kecepatan yang lebih tinggi daripada yang berada pada bagian bersuhu rendah. Gradien suhu terbesar terjadi pada subsistem tungku pembakaran yaitu pada suhu dinding tungku 268,93°C, gradien suhu terbesar kedua pada subsistem tangki air 44,8°C, dan gradien suhu terkecil pada subsistem penukar panas 15,47°C .

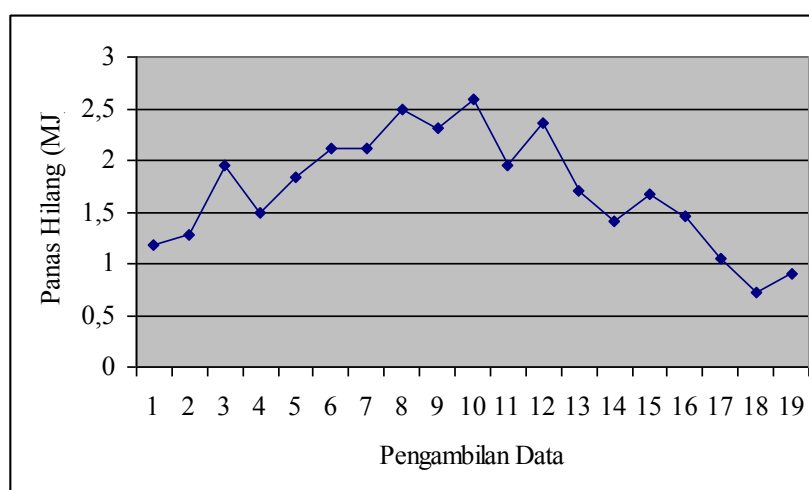
Nilai resistensi termal setiap subsistem ditentukan oleh luas permukaan bahan yang dialiri panas. Semakin luas permukaan bahan yang dialiri panas, maka semakin besar pula kehilangan panasnya. Faktor lain yang mempengaruhi besarnya nilai resistensi termal adalah koefisien pindah panas keseluruhan. Koefisien pindah panas menyeluruh adalah penjumlahan dari seluruh koefisien pindah panas yang meliputi koefisien pindah panas konduksi, koefisien pindah panas konveksi,

dan koefisien pindah panas radiasi, tetapi karena pindah panas radiasi tidak begitu berpengaruh, maka koefisien pindah panas radiasi tidak dibahas.



Gambar 3. Panas yang hilang pada dinding tungku pembakaran.

Kehilangan panas yang terjadi pada subsistem tungku pembakaran yaitu pada dinding tungku pembakaran, dinding pipa penyalur, dan dinding cerobong pembuangan. Kehilangan selama pengeringan tanpa beban disajikan pada Gambar 3. Kehilangan panas total pada dinding tungku selama proses pengeringan tanpa beban adalah 223,233 MJ. Kehilangan panas tertinggi diperoleh pada pengambilan data ke-14 dan ke-15 12,076 MJ, dan kehilangan panas terendah diperoleh pada pengambilan data ke-18 11,048 MJ. Gambar 3 menunjukkan kehilangan panas pada subsistem tungku pembakaran. Panas hilang pada dinding tungku pembakaran mempunyai kecenderungan nilai yang hampir sama dengan kehilangan panas rata-rata 11,750 MJ. Hal ini diakibatkan gradien suhu dinding tungku pembakaran cukup seragam, berkisar antara 266,93°C - 281,40°C.

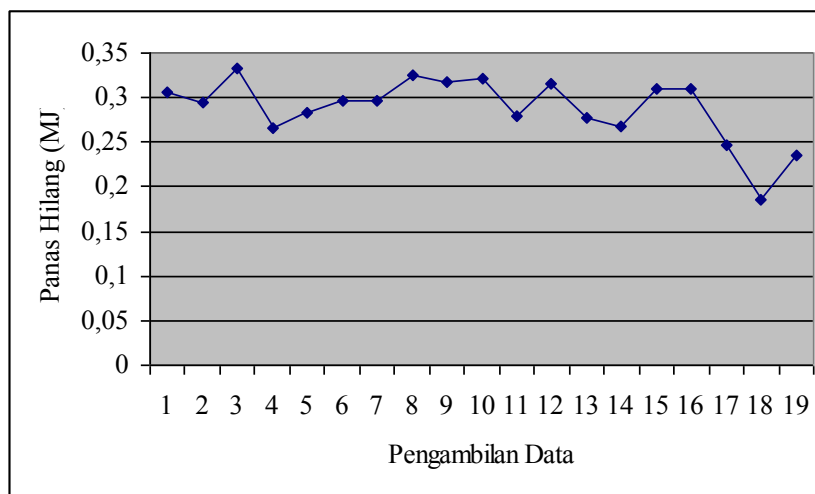


Gambar 4. Panas yang hilang pada pipa-pipa penyalur.

Kehilangan pada bagian dinding pipa penyalur selama proses pengeringan tanpa beban disajikan pada Gambar 4. Kehilangan panas total pada dinding pipa penyalur selama proses pengeringan tanpa beban 32,574 MJ. Kehilangan panas tertinggi diperoleh pada pengambilan data

ke-10 2,594 MJ, dan kehilangan panas terendah diperoleh pada pengambilan data ke-18 0,718 MJ. Gambar 4 menunjukkan kehilangan panas pada pipa penyalur mengalami kenaikan kemudian mengalami penurunan kembali. Peningkatan panas hilang diakibatkan peningkatan suhu pada ruang pembakaran, sehingga menimbulkan peningkatan gradien suhu pipa penyalur antara 20,70°C-36,34°C. Sedangkan penurunan nilai panas hilang diakibatkan oleh penurunan suhu ruang pembakaran dan suhu air dalam tangki air cukup seragam karena terjadi sirkulasi air ke dalam penukar panas, hal ini mengakibatkan penurunan gradien suhu pada pipa penyalur. Sehingga nilai panas hilang mengalami penurunan.

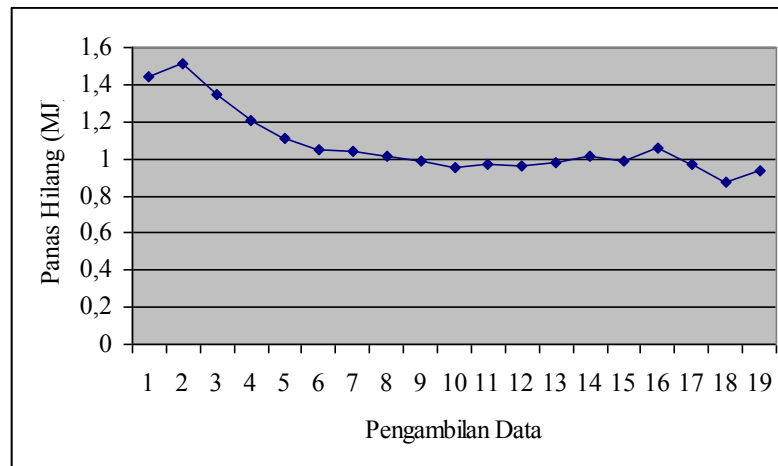
Kehilangan pada bagian dinding cerobong pembuangan selama proses pengeringan tanpa beban disajikan pada Gambar 5. Kehilangan panas total pada dinding tungku selama proses pengeringan tanpa beban 5,466 MJ. Kehilangan panas tertinggi diperoleh pada pengambilan data ke-8 0,325 MJ, dan kehilangan panas terendah diperoleh pada pengambilan data ke-18 0,186 MJ. Gambar 5 menunjukkan kehilangan panas pada subsistem cerobong pembuangan mengalami fluktuatif dengan kehilangan panas rata-rata 0,288 MJ. Hal ini diakibatkan oleh gradien suhu pada dinding cerobong pengeluaran tidak tetap persatuan waktu sehingga panas yang terserap dinding cerobong pengeluaran mengalami fluktuatif.



Gambar 5. Panas yang hilang pada dinding cerobong pembuangan.

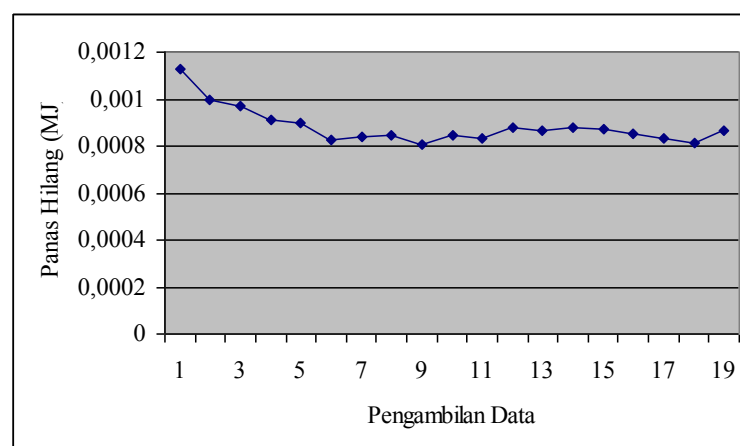
Kehilangan pada subsistem tangki air selama proses pengeringan tanpa beban disajikan pada Gambar 6. Kehilangan panas total pada subsistem tangki air selama proses pengeringan tanpa beban adalah 20,416 MJ. Kehilangan panas tertinggi diperoleh pada pengambilan data ke-4 1,517 MJ, dan kehilangan panas terendah diperoleh pada pengambilan data ke-19 0,874 MJ. Gambar 6 menunjukkan kehilangan panas pada subsistem tangki air mengalami penurunan dan selanjutnya kehilangan panas konstan. Hal ini diakibatkan karena sirkulasi air dalam tangki air ke dalam penukar panas yang menimbulkan pindah panas dari fluida dingin ke fluida panas, sehingga terjadi

penurunan panas yang hilang dalam subsistem tangki air. Setelah fluida setimbang selanjutnya jumlah panas yang hilang menjadi konstan.



Gambar 6. Panas yang hilang pada subsistem tangki air.

Kehilangan pada subsistem penukar panas selama proses pengeringan tanpa beban disajikan pada Gambar 7. Kehilangan panas total pada subsistem penukar panas selama proses pengeringan tanpa beban 0,017 MJ. Kehilangan panas tertinggi diperoleh pada pengambilan data ke-1 0,001 MJ, dan kehilangan panas terendah diperoleh pada pengambilan data ke-18 0,001 MJ. Gambar 7 menunjukkan kehilangan panas pada subsistem penukar panas mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan karena terjadinya penurunan gradien suhu logaritmik pada subsistem penukar panas. Penurunan ini terjadi karena udara panas sekitar penukar panas ditarik oleh blower menuju ruang pengering. Sehingga terjadi penurunan suhu simultan. Hal ini selaras dengan Drannikov *et al.*, (2019) yang mengusulkan untuk menggunakan pengering drum dengan pasokan energi gabungan (udara dan uap super panas), yang tidak hanya akan mempercepat proses pengeringan, tetapi juga menjaga kualitas produk yang bermanfaat.



Gambar 7. Panas yang hilang pada penukar panas.

Kehilangan panas total pada subsistem penukar panas selama proses pengeringan tanpa beban 0,017 MJ. Kehilangan panas tertinggi diperoleh pada pengambilan data ke-1 0,001 MJ, dan

kehilangan panas terendah diperoleh pada pengambilan data ke-18 0,001 MJ. Gambar 7 menunjukkan kehilangan panas pada subsistem penukar panas mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan karena terjadinya penurunan gradien suhu logaritmik pada subsistem penukar panas. Penurunan ini terjadi karena udara panas sekitar penukar panas ditarik oleh blower menuju ruang pengering. Sehingga terjadi penurunan suhu simultan. Hal ini selaras dengan Drannikov *et al.*, (2019) yang mengusulkan untuk menggunakan pengering drum dengan pasokan energi gabungan (udara dan uap super panas), yang tidak hanya akan mempercepat proses pengeringan, tetapi juga menjaga kualitas produk yang bermanfaat.

### Efisiensi Thermal Sistem

Perhitungan efisiensi dilakukan pada masing-masing subsistem dan efisiensi total sistem. Efisiensi pengeringan pada setiap subsistem merupakan perbandingan antara panas efektif masing-masing subsistem dengan energi yang diterima pada subsistem tersebut. Sedangkan efisiensi total sistem merupakan perbandingan energi yang terpakai dalam sistem dengan energi bahan bakar yang digunakan.

Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan bahan bakar selama proses pengeringan tanpa beban dalam waktu 190 menit adalah 5,71 kg. Massa ini diketahui dengan menghitung selisih massa bahan bakar awal dengan massa bahan bakar akhir. Melalui perhitungan diperoleh energi panas yang dihasilkan 263,231 MJ. Besarnya energi panas yang digunakan ini ditentukan oleh massa bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar. Adapun nilai kalor dari gas elpiji 46,1 MJ/kg.

Tabel 1. Panas efektif yang dihasilkan tiap subsistem

Subsistem	Panas Efektif (MJ)
Tungku pembakaran	32,5737
Tangki air	12,16
Penukar panas	12,141

Panas efektif pada subsistem tungku pembakaran memiliki kecenderungan paling tinggi yaitu 32,574 MJ. Nilai panas efektif ini merupakan nilai kehilangan panas dinding pipa penyalur. Nilai panas efektif terbesar kedua adalah panas efektif tangki air 12,160 MJ. Nilai panas efektif mengalami penurunan dikarenakan panas efektif dari pipa penyalur hilang secara konveksi dan konduksi ke dinding tangki air dan ke lingkungan. Nilai panas efektif paling rendah pada subsistem penukar panas 12,141 MJ.

Nilai efisiensi meliputi efisiensi subsistem tungku pembakaran, efisiensi subsistem tangki air, efisiensi penukar panas dan efisiensi total sistem. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi terbesar adalah pada subsistem penukar panas 99,86%. Hal ini diakibatkan karena kehilangan pindah panas pada subsistem penukar panas memiliki nilai paling kecil yaitu 0,017 MJ. Efisiensi terbesar kedua adalah pada subsistem tangki air 37,32% dengan kehilangan panas 20,416 MJ. Nilai

efisiensi paling kecil adalah pada subsistem tungku pembakaran 12,37% dengan total kehilangan panas 223,233 MJ.

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai efisiensi total pada sistem alat pengering tipe drum berputar adalah 4,61%. Besarnya nilai efisiensi ini didapatkan dengan membandingkan antara panas efektif pada subsistem penukar panas dan panas yang dihasilkan oleh bahan bakar.

#### 4. Kesimpulan

Mekanisme pindah panas pada alat pengering tipe drum berputar terjadi secara konduksi dan konveksi. Total panas yang hilang pada subsistem tungku pembakaran adalah 261,270 MJ, subsistem tangki air 20,416 MJ, subsistem penukar panas 0,017 MJ, dan subsistem silinder pengering 0,577 MJ. Efisiensi termal pada subsistem tungku pembakaran 30,17%, subsistem tangki air 74,30%, subsistem penukar panas 99,97%, dan subsistem silinder pengering 99,02%. Efisiensi total sistem terhadap besarnya bahan bakar yang diberikan adalah 75,87%.

#### Daftar Pustaka

- Adapa, P. K., Schoenau, G. J., & Arinze, E. A. (2005). Fractionation of Alfalfa into Leaves and Stems using a Three Pass Rotary Drum Dryer. *Biosystems Engineering*, 91(4), 455-463.
- Delgado, J. M. P. Q., & De Lima, A. G. B. (2016). *Drying and Energy Technologies*. Bern, Switzerland: Springer International Publishing.
- Drannikov, A. V., Shakhov, S. V., Erofeevskaya, M. O., Sukhanov, P. M., & Bubnov, A.R. (2019). Determination and Use of Rational Parameters of The Drying Process of Beet Pulp When Creating a Drum Dryer with a Combined Energy Supply. *Vestnik Voronežskogo Gosudarstvennogo Universiteta Inženernyh Tehnologij*, 81(2), 63-69. doi:10.20914/2310-1202-2019-2-63-69, Retrieved from <https://doaj.org/article/3a68216b9d604bc99009d85a54a6d2ce>.
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer, 10<sup>th</sup> Edition*. New York, USA: The McGraw-Hill Companies.
- Horváth, D., Poós, T., & Tamás, K. (2019). Modeling the Movement of Hulled Millet in Agitated Drum Dryer with Discrete Element Method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162(7), 254-268.
- Hossain, M. M. (2011). *Heat and Mass Tarnsfer – Modelling and Simulation*. Rijeki, Croatia: Intech.
- Mujumdar, A. S. (2006). *Handbook of Industrial Drying, 3<sup>rd</sup> Edition*. Singapore, Singapore: CRC Press.
- Nelwan, L. O., Suastawa, I. N., & Sulikah. (2008). Pemodelan dan Simulasi Pengeringan Jagung Pipilan dalam Pengering Rotari Tumpukan. *Journal Keteknikan Pertanian*, 22(2), 93-98, doi:10.19028/jtep.22.2.93-98,
- Ostroukh, A. V., Aung, W. P., Kolbasin, A. M., & Seleznev, V. S. (2015). Simulation Modeling of Non-Homogeneous Mixture in the Horizontal Drum Mixer. *International Journal of Advanced Studies*, 5(1), 3-7, Retrieved from <https://doaj.org/article/3cb86d34d74a49d9934fb8c49f13c641>.
- Risano, A. Y. E., Tanti, N., & Efendi, M. (2017). Perancangan Ulang Alat Pengering Biji Kakao Tipe Rotari Sederhana pada Usaha Mandiri di Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(2). doi: 10.24127/trb.v6i2.602
- Saha, S. K., Ranjan, H., Emani, M. S., & Bharti, A. K. (2020). *Heat Transfer Enhancement in Plate and Fin Extended Surfaces*. Bern, Switzerland: Springer International Publishing.

- Sonsiri, A., Punyakum, V., & Radpukdee, T. (2019). Optimal Variables Estimation for Energy Reduction Via a Remote Supervisory Control: Application to A Counter-Flow Rotary Dryer. *Heliyon*. 5(1): e01087.
- Sulikah, Nelwan, L. O., & Suastawa, I. N. (2008). Disain dan Uji Kinerja Pengering Rotari Tumpukan untuk Pengeringan Jagung Pipilan. *Journal Keteknikan Pertanian*, 22(2), 99-104. doi: 10.19028/jtep.22.2.99-104.
- Telci, İ., Tuncay, M. T., & Polatci, H. (2010). Product Quality and Energy Consumption when Drying Peppermint by Rotary Drum Dryer. *Industrial Crops and Products*. 32(3): 420-427.
- Welty, J., Rorrer, G.L., & Foster, D.G. (2019). *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*, 7<sup>th</sup> Edition. New York, USA: John Wiley & Sons.